

RADNAI GYULA*

Békésy és a Mach sávok kutatása (A Nobel-díjas tudós születésének centenáriumára)

„Végül őszinte köszönetet mondok dr. Tangl Károly tanár úrnak, aki értékes tanácsaival és segítségével mindenkor szívesen támogatott. Éppúgy köszönettel tartozom dr. Strauss Ármin tanár úrnak az interferenciális refraktor átengedéséért.

Budapest, I. sz. fizikai intézet, 1923 nyarán”

Így fejeződik be **Békésy György** első tudományos dolgozata, doktori disszertációja, amelyet **Tangl Károlynál** készített. Tangl **Eötvös Loránd** egyik legjobb tanítványa, akkor alig több, mint egy éve vette át az 1919-ben elhunyt Eötvös Loránd tanszékét. Még 1903-ban Eötvös ajánlására nyerte el Tangl a kolozsvári egyetem kísérleti fizika tanszékét, ahonnan 1916-ban feljött Budapestre a műegyetem fizikai intézetének élére, innen pedig átjött a tudományegyetemre. Kiváló tanár volt; jó érzékkel választotta ki a fizikából különösen tehetséges hallgatókat, akiket azután minden erejével segített elindulni a tudományos kutatói pályán. Kolozsváron ő fedezte fel **Gyulay Zoltánt**, **Ortvay Rudolfot**, a műegyetemen **Lánczos Kornélt**, a tudományegyetemen pedig az első, aki nála doktorált, Békésy György volt. Érdekes, hogyan emlékezett vissza ezekre a hónapokra a 70 éves Békésy professzor:

„A budapesti egyetemen rengeteg hibát követtem el. A laboratórium igazgatója Tangl professzor előtt Eötvös volt. Vele már nem találkozhattam, a technikusával azonban többször is. Valahányszor hozzákezdtem egy kísérlethez, azt mondta, hogy a kegyelmes úr nem így csinálná. Így tudtam meg, hogy hogyan gondolkozott és dolgozott Eötvös, és ismét csak azt mondhatom, hogy egy probléma több, különböző oldalról való makacs megközelítésének egyszerűsége volt az, amely Eötvöst a világ kimagasló tudósainak egyikévé tette...”

Ezt a kutatói szellemet, attitűdöt sajátította el, tette magáévá akarva, akaratlanul is Békésy György. A vizsgált probléma több, különböző oldalról való makacs megközelítésének egyszerűsége jellemezte az ő életművét is, összes kutatását – 23 éves korától kezdve, egészen 73 éves koráig. Szüksége is volt rá és nyilván tehetsége is volt hozzá. Zaklatott, háborúktól szabdalt és egyéni tragédiáktól sem mentes életében ez segítette át minden nehézségen és kudarcon, ez tette sikeres kutatóvá.

Életemben háromszor vesztettem el mindenemet – írta önéletrajzi jegyzeteiben a 70 éves tudós. Nem nehéz kitalálni, mire gondolhatott.

* ELTE Általános Fizika Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

Az első ilyen tragikus nap 1944. április 3. volt, amikor a Posta Kísérleti Állomáson kiépített laboratóriuma egy bombatámadás során megsemmisült. Minden berendezése, műszere odaveszett. Ennek nyomán határozta el, hogy egyetemi tanszékének legértékesebb műszereit szétszítja megőrzésre a kollégák és a hallgatók között. *„A háború után előáshattuk azt a felszerelést, amit a hallgatók és az oktatók segítségével titokban elrejtettünk. Senki sem árulta el a rejtékhelyet, így a békés viszonyok visszaállása után az én intézetemben indult meg legkedvezőbb körülmények között a munka. Több szerszámunk volt az új eszközök készítéséhez, mint akárhány gyárnak.”*

Másodszor úgy „veszett el” Békésy minden eszköze, műszere, feljegyzése, hogy azok itt maradtak Magyarországon, amikor ő Amerikában kezdte újra kutatásait. 17 évet töltött a Harvard Egyetemen, ahol végül is sokkal jobb laboratóriumot sikerült létre hoznia, mint a magyarországi volt – akár az egyetemen, akár a Posta Kísérleti Állomáson – mégis nosztalgiával emlékezett vissza később:

„Visszatekintve életem Magyarországon eltelt szakaszára, az az érzésem, hogy tudományos munkám akkor mélyrehatóbb és jelentősebb volt, mint az, amit az Egyesült Államokban végeztem...”

Itthon egy ládába csomagolták össze Békésy papírjait, melyből sok értékes különlenyomatot Békésy egykori doktorandusza, **Tarnóczy Tamás** professzor küldött el később Békésynek. Ő azután féltett kincsként őrizte ezeket a Harvard Egyetemen mindaddig, amíg be nem következett a harmadik tragédia, amikor újra mindenét elvesztette a most már 60-as éveit taposó tudós:

1965-ben tűz pusztított abban az épületben, amelynek alagsorában volt Békésy laboratóriuma. Újra mindene odaveszett.

Békésy, a nagy „újrakezdő”, 67 éves korában élete utolsó nagy vállalkozásába fogott: elfogadva a Hawaii Egyetem meghívását, áttelepült Honoluluba, hogy ott, a számára létrehozandó Laboratory of Sensory Sciences – érzékeléstudományi intézet – vezetőjeként most már ne csak halláskutatással foglalkozzon, hanem általában az emberi érzékszervek működésének közös tulajdonságait kutassa.

A Hawaii Egyetem méltán lehetett büszke, hogy egy Nobel-díjas tudós elfogadja a felkínált kutató-professzori állást, Békésy viszont magával vihette egy-két kipróbált munkatársát Honoluluba. Az ő tervei szerint épült fel egy kétszintes épület jól felszerelt fa- és fémmegmunkáló, valamint elektronikai műhelyekkel. Ma ez az intézet a „Békésy Laboratory of Neurobiology” nevet viseli, s a Csendes-óceáni Orvosbiológiai Kutatóközpont (PBRC) keretében működik. Tíz kutató dolgozik benne, munkájukat a Békésy által létrehozott műhelyek segítik. Ebből az intézetből került a Békésy-hagyaték (műszerek, eszközök, feljegyzések) 1995-ben Magyarországra, az akkor létrehozott diósdói Rádió- és Televíziómuzeum két emlékszobájába. (Külön köszönet illeti azokat, akik ezt kezdeményezték, megszervezték, lebonyolították.)

Miért terjesztette ki Békésy kutatásait a hallószervről a többi érzékszervre?

Hogyan jutott el a Mach sávok kutatásáig?

Saját kísérletei, melyeket a belső fül működésének feltárására végzett, arra a következtetésre vezették, hogy a csigában húzódó alaphártyán végigfutó hullám a hang rezgésszámának függvényében más-más helyen éri el maximumát. Így a hallott hang magasságát a különböző helyeken más-más módon ingerelt idegsejtek összehangolt működése közvetíti az agy felé. Békésy úgy gondolta, hogy az első jelfeldolgozás még ott, a fülben megtörténik, s az agy már egy megformált, a hang magasságát tisztán hordozó jelzést kap. Ugyanakkor Békésy mérései sokkal laposabb maximumot mutattak annál, amit az emberi hallás frekvencia-érzékenysége, szelektivitása alapján várni lehetett.

Békésy ezért azt az idegi mechanizmust kutatta, ahogyan a szélesen hömpölygő inger a fülben keskeny ingerületté élesedik ki.

Feltételezte, hogy ez egy olyan mechanizmus, amely nemcsak a fül működésében jelenik meg, hanem más érzékszervek működésében is. Ezért bővítette ki kutatásait még a Harvard Egyetemen a tapintás, a bőrérzékelés irányába. Honoluluban pedig már úgy gondolta, hogy valamennyi érzékszervünk működésének közös vonása az a primer, differenciális jelfeldolgozás, amelynek lényegét az ingerérettel kapcsolatban a laterális (oldalirányú) gátlás mechanizmusára lehet vissza-

vezetni. Keresett tehát olyan jelenségeket, ahol ez valamelyik érzékszerv működésében explicite jelentkezik.

Így jutott el a látás vizsgálatához, azon belül a kontrasztjelenségek tanulmányozásához, s ezek közül is az egyik meglepő, először **Ernst Mach** által leírt és értelmezett optikai csalódás, a „Mach sávok” felléptének körütekintő, tudományos vizsgálatához.

Mik is azok a Mach sávok?

Ernst Mach „*Az érzetek elemzése*” c. könyvében olvashatjuk **Erdős Lajos** (a világhírű matematikus, **Erdős Pál** édesapja!) fordításában az alábbi sorokat: „...az ideghártya valamely helyének megvilágítását a szomszédos helyek megvilágításának középértékétől való eltérés mértéke szerint érezzük meg...”

Példaképpen tekintsünk egy ún. szürke skálát, mely egymáshoz illeszkedő egyre sötétebb árnyalatú szürke csíkokból áll. Ha egy ilyen skálát figyelmesen szemlélünk, akkor bármelyik két csík találkozásánál úgy tűnik, mintha a világosabb csík még világosabb, a sötétebb csík pedig még sötétebb lenne. Hiába tudjuk, hogy mindegyik csík önmagában egyenletesen szürke, úgy érezzük, mintha a sötétebb csík mellett a szürke csík egy vékony sávban kivilágosodna, a világosabb csík mellett pedig egy vékony sávban besötétedne. Nos, ezek a vékony, látszólagos sávok a Mach sávok (Mach Streifen, Mach bands, bandes de Mach).

A Mach sávok tehát mintegy **kiélesítik** az objektív világosságok közötti kontrasztot: eltorzítják, felerősítik magát a változást.

Pontosan ilyen mechanizmust keresett a hallás számára a fülben Békésy, s megtalálta a szemben, a látás során optikai csalódást is okozó mechanizmus képében.

Ma már az érzékelési csalódásokkal foglalkozó pszichológia tankönyvekben a Mach sávokkal külön fejezet foglalkozik, s a nemzetközi pszichológiai irodalomban idézett magyar kutatók között az elsők között van Békésy neve.

Békésy ugyanis nem fogadta el Mach magyarázatát, amely szerint a látszólagos sávok megjelenésében a világosság helyfüggvényének második deriváltja a döntő tényező. Kiterjedt kísérlet-sorozatba kezdett Honoluluban, melynek során meg tudta mutatni, hogy kevésbé éles határok esetén is megjelenhetnek a Mach sávok, amikor tehát a másik derivált lényegesen más értéket vesz fel. Nemcsak a határ, hanem a határ kiterjedtebb környezete számít.

Ezért kutatta Békésy az egymás melletti érző idegsejtek közti kapcsolatokat és ezért szentelt nagy figyelmet az oldalirányú gátlásnak.

A jelenség értelmezésére azt a modellt használta, amely szerint, ha egy érző idegsejtet külső inger ér, akkor az egymás melletti idegsejtek közti kölcsönös kapcsolat, összehangolt működés során az ingerelt sejt közvetlen környezetére is kiterjed az inger; sőt, valamivel távolabb még gátlást is okoz. (Ez az oldalirányú gátlás.) Egyetlen „idegi egységnek” tekintette az ingerelt sejttel együtt annak kis környezetét, amire az inger, illetve a gátlás kiterjed.

Békésynek a Mach sávok kutatására végzett kísérleteit két nagy csoportra lehet osztani.

Az egyikben – lényegében Mach nyomán – egy mintegy 30 cm átmérőjű körbe írt 6 vagy 8 ágú csillagot forgatott. A csillag fehér alapon fekete, vagy fekete alapon fehér volt, és olyan alakú, hogy a csillag gyors forgatásakor a világosság Mach eredeti kísérletéhez hasonló módon változzék a kör sugara mentén. A Mach sávok ilyenkor körök voltak.

Kísérleteinek másik csoportjában Békésy egy álló fekete-fehér minta felett forgatott egy négyzet keresztmetszetű üveghasábot, melyen átnézve, a fekete-fehér ábra helyről helyre más tónusú szürkének látszott. A Mach sávok itt a forgásirányra merőleges, vékony csíkokként jelentek meg.

Legutolsó nagy cikke, mely 1972. január 21-én érkezett be az angliai Vision Research tudományos folyóirathoz, az alábbi címet viseli: „*Mach sávok mérése kompenzációs módszerrel*”. Ekkor már súlyos beteg volt, nemsokára kórházba került, s június 13-án meg is halt. Miközben a cikket írta, Békésy már valószínűleg tudta, hogy nem sok ideje van hátra. Semmi közvetlen utalás nincs erre a cikkben, egyedül a szokásosnál kissé bővebb szakirodalmi visszatekintés, valamint a hivatkozások széles spektruma jelzi, hogy ezt az írást a szerző összegzésnek szánta.

Ugyanakkor maga a kompenzációs módszer ötlete teljesen „*Békésy (ill. Eötvös)-szerű*”: egy-

szerű és zseniális egyszerre. Úgy méri a Mach sávok erősségét, hogy azon a helyen, ahol a Mach sávok megjelenének a forgatott csillagon, kissé megváltoztatja a csillag alakját. Világos Mach sáv esetén egy kicsit több feketét tesz oda, sötét sáv esetén kicsit több fehérét. Addig változtatja ezt a kompenzációs alakot, amíg eltűnik a Mach sáv. Ennyi. Megmérte a mérhetetlent.

Ez az eszköz, a csillagokkal együtt benne volt abban a hagyatékban, amely Magyarországra került, s ma már újra működésképesen látható Diósdon, a Békésy Emlékiállításon.